PART7 宇宙の誕生と進化

目標　ビッグバンモデル，3K 宇宙背景放射，ダークエネルギーとは何か，それぞれ説明できる。

Chapter1　宇宙の誕生と進化

ハッブル・ルメートルの法則により，宇宙は膨張してきたことが推定されます。ここでは，初期の宇宙や，そこから現在までの宇宙の進化について学びましょう。

ビッグバンモデル

・ビッグバンモデル

宇宙は約（46 億年 / 138 億年）前に超高温・超高密度の点のような状態から始まったとされる。この宇宙の始まりを**ビッグバン**といい，その膨張により宇宙が現在のすがたになったという考え方を**ビッグバンモデル**という。

・ビッグバンモデルによる宇宙の進化

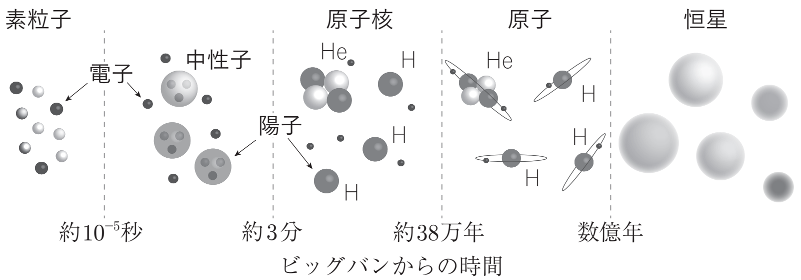
宇宙の膨張とともに温度と密度が低下していき，粒子の結合が起こっていった。

ビッグバンから約 38 万年後には，宇宙の温度が約（3K / 3000K / 300 万 K）まで低下した。そのため，宇宙空間の電子が原子核のまわりを回るようになり，自由に飛び回る電子がほとんどなくなった。これによって光が直進できるようになったことを**宇宙の晴れ上がり**という。

知っておこう

ビッグバンにおける元素の合成をビッグバン元素合成といいます。このとき，温度と密度が急速に低下していくために重い元素は合成されません。

宇宙におけるヘリウムの存在比は恒星内部の核融合だけから予想されるよりも多く，ビッグバン元素合成を考えることでうまく説明されます。このことは，ビッグバンモデルを支持する根拠の 1 つとなっています。



3K宇宙背景放射

・**3K 宇宙背景放射とは**

宇宙のあらゆる方向から観測される，温度 2.7K のほぼ完全な黒体放射に相当する電磁波を **3K 宇宙背景放射**という。

この放射は，宇宙の晴れ上がりの時点における宇宙の電磁波が，宇宙の膨張によって引き延ばされたものである。

・**3K 宇宙背景放射の意味**

等方的であることから，宇宙に特別な方向がないことがわかる。

また，宇宙の晴れ上がりの時点と比較すると温度が約（ 10^3 分の 1 / 10^6 分の 1 ）になっており，（シュテファン・ボルツマンの法則 / ウィーンの変位則）によると電磁波の波長は元の波長の約（ 10^3 倍 / 10^6 倍）になっている。これは，宇宙の膨張とともに温度と密度が低下したとするビッグバンモデルと整合的である。

・**宇宙の加速膨張とダークエネルギー**

銀河の距離測定が精密になるとともに，宇宙の膨張が加速されていることがわかってきた。この加速を担うエネルギーは現在のところわかっておらず，**ダークエネルギー**と呼ばれている。

3K 宇宙背景放射の詳細な観測により，宇宙は 5% が通常の物質，27% がダークマター，68% がダークエネルギーによって構成されていると考えられている。

まとめ

・宇宙が超高温・超高密度の状態から膨張して現在の状態になったとする考え方を＿＿＿＿＿＿モデルという。

・宇宙のあらゆる方向から観測される約 2.7K の黒体放射に相当する電磁波を＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿という。

・宇宙の膨張は加速されており，それを担う未知のエネルギーを＿＿＿＿＿＿＿＿＿という。

知っておこう

1965 年，アメリカのペンジアス (Arno Allan Penzias) とウィルソン (Robert Woodrow Wilson) は，宇宙のすべての方向から，同じ強さの未知の電磁波がつねに観測されることを発見しました。

なお，その放射をビッグバンと結びつける論文は，アメリカのディッケ (Robert H. Dicke) らによって，同じ雑誌の同じ号に発表されました。

知っておこう

3K 宇宙背景放射には，正規分布にしたがう約 10^{-5} K のゆらぎが確認できます。このゆらぎは宇宙最初期に爆発的な膨張が存在したとする**インフレーション理論**によって説明され，その後の宇宙の構造の起源となったと考えられています。

知っておこう

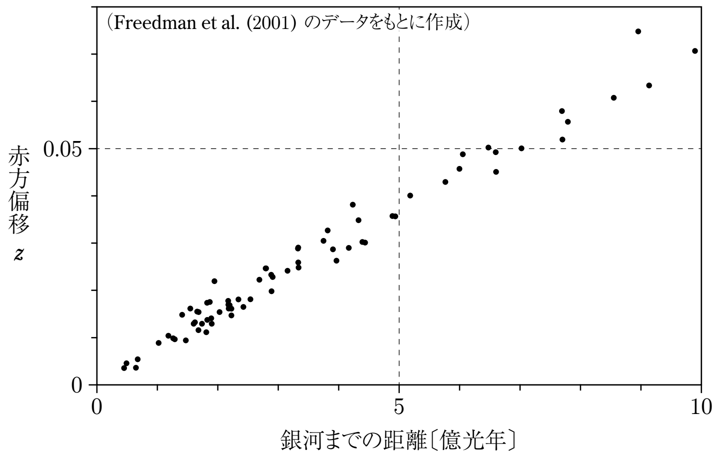
宇宙の構成として物質とエネルギーを並べることには違和感があるかもしれません。

質量 m とエネルギー E との間には，光速度を c として $E = mc^2$ の関係が成り立ちます。すなわち，質量はそれに対応するエネルギーに，また，エネルギーはそれに対応する質量に，それぞれ書き換えることができるのです。

Chapter2　演習問題

ここでは，宇宙の膨張について確認しましょう。

問題(1)　次の図は，銀河までの距離と赤方偏移との関係を示しています。この図について述べた下の文章中の空欄［　**ア**　］～［　**ウ**　］に入る数値を答えましょう。ただし，［　**ア**　］と［　**ウ**　］は小数第２位まで，［　**イ**　］は整数で答えましょう。



赤方偏移は，銀河の後退速度と比例する。よって，この図で銀河までの距離と赤方偏移との関係が原点を通る直線によって近似されることは，銀河までの距離と後退速度が比例するというハッブル・ルメートルの法則が成り立つことに対応する。

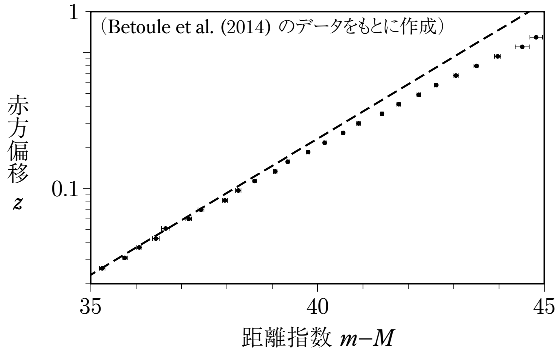
ここで，８億光年の距離にある銀河の赤方偏移 z はグラフより［　**ア**　］である。よって，z =［　**ア**　］の銀河からの光は，［　**イ**　］億年前に放射されたものだといえる。このことから，［　**イ**　］億年前の宇宙の大きさは，現在の宇宙の約［　**ウ**　］倍であったと考えることができる。

知っておこう

天文学において，距離と年代が対応付けられることは非常に重要です。

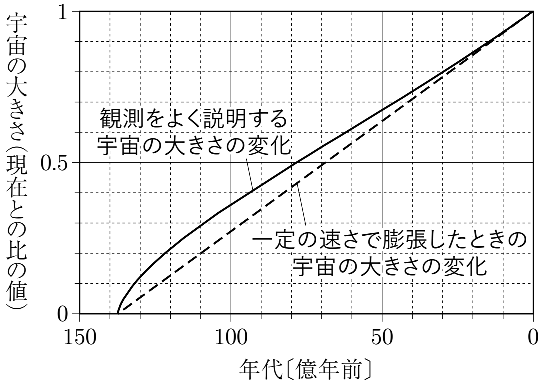
遠方で現在起こっていることを観測することはできません。その一方で，遠方の天体に着目することにより，過去に起こったことを観測することができるのです。

問題⑵　次の図は，距離指数と赤方偏移との関係を表しています。黒丸は観測結果を示しており，破線はハッブル定数を70km/s/Mpc としたときの理論的な関係を示したものです。この図について述べた下の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。



問題⑴と同様に，縦軸は後退速度の指標と考えることができる。遠方の銀河の後退速度は，ハッブル・ルメートルの法則で予想されるよりも（大きい / 小さい）。つまり，この図の範囲において宇宙の膨張は（加速 / 減速）してきたと推定される。

問題⑶　次の図は，現在までの宇宙の大きさの変化を表したものです。この図について述べた下の文章中の(　　)について，正しいものを選びましょう。



宇宙の膨張は（120 ~ 110 / 70 ~ 60）億年前まで（加速 / 減速），それから現在までの間は（加速 / 減速）してきた。このうち加速を担うものを（ダークマター / ダークエネルギー）と呼ぶが，現在のところその正体は知られていない。

復習

距離指数 $m-M$：
天体の見かけの等級 m から絶対等級 M を引いたもので，距離 d〔パーセク〕と
$$m - M = 5 \log_{10} \frac{d}{10}$$
の関係がある。
　つまり，d が 10 倍になるごとに $m-M$ が 5 大きくなる。

ここがPOINT

問題⑴の図は赤方偏移が 0.08 までだったので，**問題⑵**の図の中では左下の一部分にあたります。
　近くは「最近」，遠くは「昔」に対応することに注意しましょう。

知っておこう

宇宙の膨張を減速させるものとしては，物質どうしの万有引力が挙げられます。

第 21 講　PART7　確認問題

問 1　次の文章を読み，下の問いに答えよ。

宇宙のビッグバンモデルは，宇宙は約（　ア　）億年前に超高温・超高密度の点のような状態から始まり，膨張により現在のような姿になったとする考え方である。ビッグバンから（　イ　）万年後，宇宙の温度が約 3000 K まで下がり，（　ウ　）が起こった。このときの電磁波が宇宙膨張によって引き延ばされたものが，a 3 K 宇宙背景放射として観測されている。

宇宙膨張は加速しており，そのエネルギー源はダークエネルギーと呼ばれる未知のものである。宇宙には，通常の物質が（　エ　）%，ダークマターが（　オ　）%，ダークエネルギーが（　カ　）%存在すると考えられている。

(1)　空欄アに入る数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　46　　②　92　　③　138　　④　184

(2)　空欄イ，ウに入る数と語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　イ：38　　ウ：宇宙のインフレーション
②　イ：38　　ウ：宇宙の晴れ上がり
③　イ：380　　ウ：宇宙のインフレーション
④　イ：380　　ウ：宇宙の晴れ上がり

⑶　下線部ａについて，３Ｋ宇宙背景放射の特徴として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　あらゆる方向から同じ強さで観測される。

②　あらゆる方向から観測されるが，強さは方向による。

③　特定の方向から一定の強さで観測される。

④　特定の方向から観測されるが，強さは一定でない。

⑷　空欄エ～カに入る数の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　エ：68　オ：27　カ：5

②　エ：27　オ：5　カ：68

③　エ：5　オ：27　カ：68

④　エ：27　オ：68　カ：5

第 21 講　銀河と宇宙

PART1　銀河系の構造

問題(1)　円盤部，バルジ，星間物質

問題(2)　球状星団，3 万光年，7.5 万光年

問題(3)　電波，電波や赤外線，X 線

PART2　銀河系の天体の運動

問題(1)　$\frac{1}{8000}$ 秒角，1.0×10^{10}，2 億年

問題(2)　ア：$\frac{2\pi a}{P}$　イ：$\frac{av^2}{4\pi^2}$

a，比例

PART3　さまざまな銀河

問題(1)　−22，クェーサー

問題(2)　棒渦巻き銀河，紫外線，赤外線，セイファート銀河

問題(3)　楕円銀河，電波銀河

PART4　宇宙の距離はしご

問題(1)　ア：500　イ：−4.5　ウ：400　エ：−7.5

問題(2)　【※図参照】

問題(3)　オ：10^7

問題(4)　カ：10^9

PART5　宇宙の階層構造

問題(1)　30′

ア：120

問題(2)　8 分 20 秒

イ：60000

問題(3)　①：A　②：B　③：D　④：F　⑤：H　⑥：I　⑦：J

PART6　ハッブル・ルメートルの法則

問題(1)　70，1Mpc

問題(2)　ア：vt_{H}　イ：$\frac{1}{H_0}$　ウ：1×10^{10}

問題(3)　$1 + z$

PART7　宇宙の誕生と進化

問題(1)　ア：0.06　イ：8　ウ：0.94

問題(2)　小さい，加速

問題(3)　70 ～ 60，減速，加速，ダークエネルギー

第 21 講　PART7　確認問題　解答

問 1

(1)　③

解説：
宇宙の誕生は今から 138 億年前である。

(2)　②

解説：
ビッグバンから 38 万年後，それまで自由に飛び回っていた電子が原子核のまわりを回るようになり，光が直進できるようになった。これを宇宙の晴れ上がりという。

(3)　①

解説：
3 K 宇宙背景放射は，宇宙のあらゆる方向から同じ強さで観測される。これを 3 K 宇宙背景放射の等方性という。

(4)　③

解説：
3 K 宇宙背景放射の詳細な観測により，宇宙には，通常の物質が 5%，ダークマターが 27%，ダークエネルギーが 68% あることがわかっている。